從不同尺度看宇宙

Poets say science takes away from the beauty of the stars – mere globs of gas atoms. Nothing is "mere". I too see the stars on a desert night, and feel them. But do I see less or more? The vastness of the heavens stretches my imagination – stuck on this carousel, my little eye can catch one–million–year–old light…. Or see them [the stars] with the greater eye of Palomar, rushing all apart from some common starting point when they were perhaps all together. What is the pattern, or the meaning, or the why? It does not do harm to the mystery to know a little about it. For far more marvelous is the truth than any artists of the past imagined! Why do the poets of the present not speak of it？

Richard Feynman

1.1 天文學的距離單位

- 科學標誌法 (**Scientific notations**)：**天文學上所牽涉的尺度範圍十分廣大，所以習慣以** 10 **的次方表示非常大或非常小的數目。**

  例如：$10^5 = 100,000$，$10^3 = 1,000$，$10^{-3} = 0.001$，$10^{-5} = 0.00001$
  例如：$300,000 = 3 \times 10^5$，$45,000 = 4.5 \times 10^4$，$0.000062 = 6.2 \times 10^{-5}$

- 度量字首 (**Metric Prefixes**)：**使用度量字首以便顯示** 10 **的次方。**

  例如： k (**千，來自** kilo) = 10^3 = 1,000；M (**百萬，來自** mega) = 10^6 = 1,000,000
  例如：1 km = 10^3 m = 1000 m；1 Mton = 10^6 tons (**公噸**) = 1,000,000 tons

- 天文單位 **(Astronomical unit, AU)**：**一個天文單位相等於地球與太陽之間的平均距離。換言之,**

$$1 \text{ AU} \approx 1.5\times10^{11} \text{ m}$$

- 光年 **(light year, ly)**：**一光年相等於在一年之內，光線在真空中所走的距離。在真空中，光的速度為每秒** 3×10^8 m。

$$1 \text{ ly} \approx 6.3 \times 10^4 \text{ AU} \approx 9.5 \times 10^{15} \text{ m}$$

- 秒差距 **(Parsec, pc)**：**另一種在天文學上常用的距離單位。**

$$1 \text{ pc} \approx 3.3 \text{ ly}$$

1.2 宇宙遊蹤

要認識我們身處的宇宙，必需先瞭解行星、恆星、星系等天體的距離和大小，相對於我們生活空間的比例。為了幫助大家想像天體之間的距離和比例，我們將會帶領大家在十二步內遊覽整個宇宙，每步所顯示的景觀都是我們身處宇宙的一部份。我們會從大家熟悉的中文大學校園出發，每一步把視野擴闊一百倍，最後到達視野的極限，看見整個宇宙的風貌。

第一步 筆者有一天坐在大學圖書館旁的廣場上，望著天空，拍下了一幅照片。照片上的東西都是我們日常生活所熟悉的，我們完全可以意會到這些東西與我們身體的大小比例。



圖 1-1 這幅香港中文大學的校園照片所覆蓋的範圍縱橫各長 13 米。筆者坐在廣場的中央，旁邊有水池和一些建築物。整個宇宙與這個範圍只不過相隔十二步！

第二步 如果我們把上一幅照片的視野擴闊一百倍，便可以清楚看見整個中文大學的校園、校園中各式各樣的建築物，和吐露港公路。整幅照片看起來就像旅遊指南中的街道圖一樣。這幅相片是在高空拍攝的，覆蓋的範圍橫跨 1.3 公里。當我們乘飛機剛剛起飛或快要降落時，也可能見過這樣的景象。在這個尺度下，車輛變得十分細小而模糊不清，而行人則渺小得好像消失了。

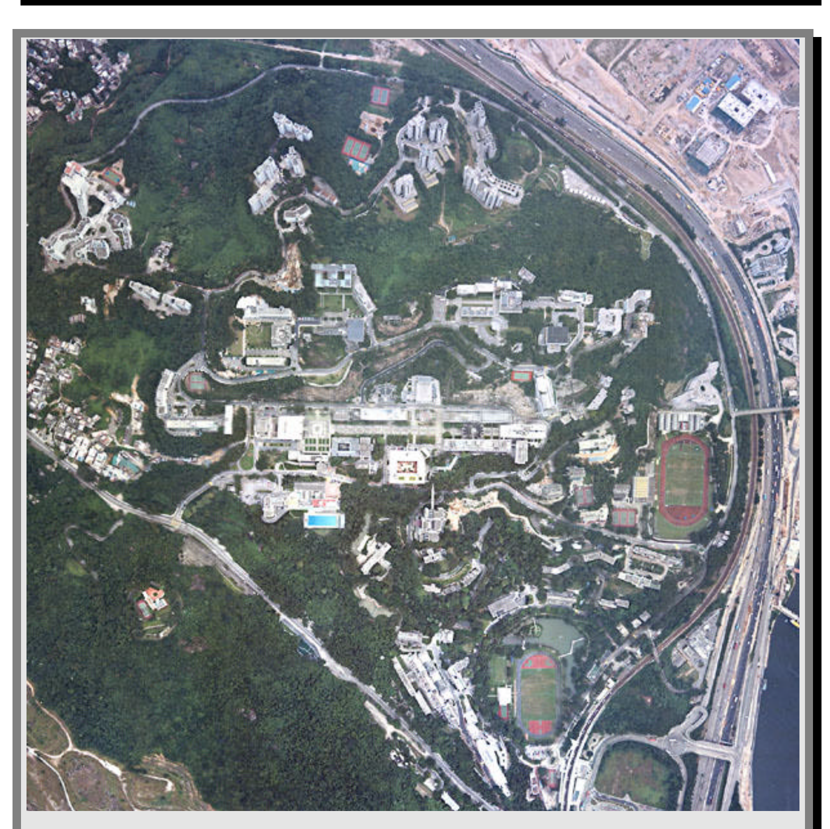


圖 1-2 當視野擴闊了一百倍後，我們可以看見整個香港中文大學校園的建築物、泳池、運動場和吐露港公路都清晰可見。你能夠找到上一幅照片中筆者所在的位置嗎？(圖片版權：地政總處)

第三步 如果把剛才那幅照片的視野再擴闊一百倍，可見的範圍便橫跨 130 公里。這是一幅典型的衛星照片。在這個尺度下，我們可以看見香港、深圳、澳門和珠江三角洲。雖然大部分的建築物都已渺小得看不見了，我仍可看見不少人類活動的痕跡，例如大嶼山的機場、珠江三角洲的農地等，也可以看見海洋、山川、河流等地球表面的天然特徵。



圖 1-3 這衛星照片橫跨 130 公里。我們現在可以看見香港、深圳、澳門和珠江三角洲。你能在相片中找到大嶼山機場等建築物嗎？(圖片版權：國際地球圖像中心)。

第四步 把視野再擴闊一百倍，我們便可以看見整個地球。地球的直徑為 12,756 公里。它主要有兩種運動，一是沿著南極和北極所連成的自轉軸每 24 小時自轉一周，二是繞太陽公轉，每 365.25 日完成一周。這照片顯示了地球被太陽照亮的一面，也就是白晝，背向著太陽的一面就是夜晚。地球自西向東轉動，造成了日夜交替循環。地球的自轉並非完全垂直於它繞太陽公轉的軌道平面，而是傾斜了 23.5°，造成四季的變遷。



圖 1-4 從太空船攝得的地球全貌。地球的大部分面積為藍色的海洋所覆蓋，看起來像一顆美麗的藍寶石 (NASA/JPL)。

第五步 再次把視野擴闊一百倍，我們便遇上了地球在太空中最近的鄰居—它的衛星月球 (Moon)。月球與地球的平均距離為 384,400 公里，這距離約為地球半徑的三十倍。月球以 27.3 日的周期繞地球公轉，造成月相盈虧的變化。月球的引力為我們帶來了每天兩次的潮水漲退，它也導至歲差，及地球自轉減慢等現象。

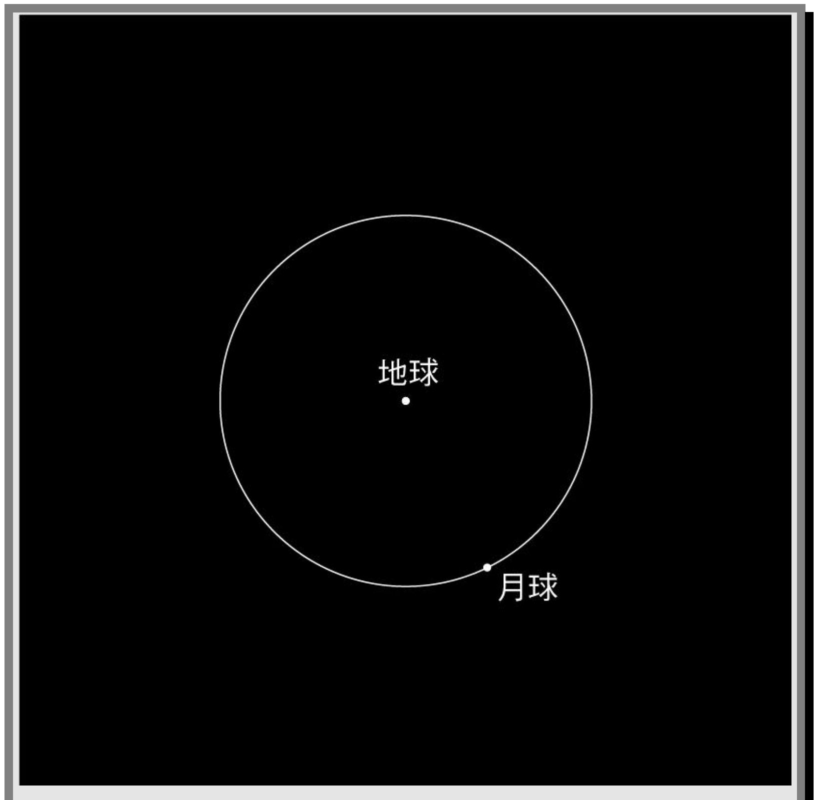


圖 1-5 當視野再擴闊100倍後，可見的範圍已橫跨 1,300,000 km。地球猶如一細小白點，月球的直徑為地球的四分之一，故顯得更加渺小。月球與地球相距約 384,400 km。


圖 1-6 月球的外貌

第六步 太陽 (Sun) 是一顆恆星 (star)，它本身能發光發熱。行星 (planet) 本身不能發光，只反射太陽光。地球就是一顆行星。太陽與各行星之間的距離比起他們的直徑，實在是大巫見小巫。如果我們將太陽縮細至如梅子般大小，那麼地球就會變成一粒距離梅子四米的鹽。

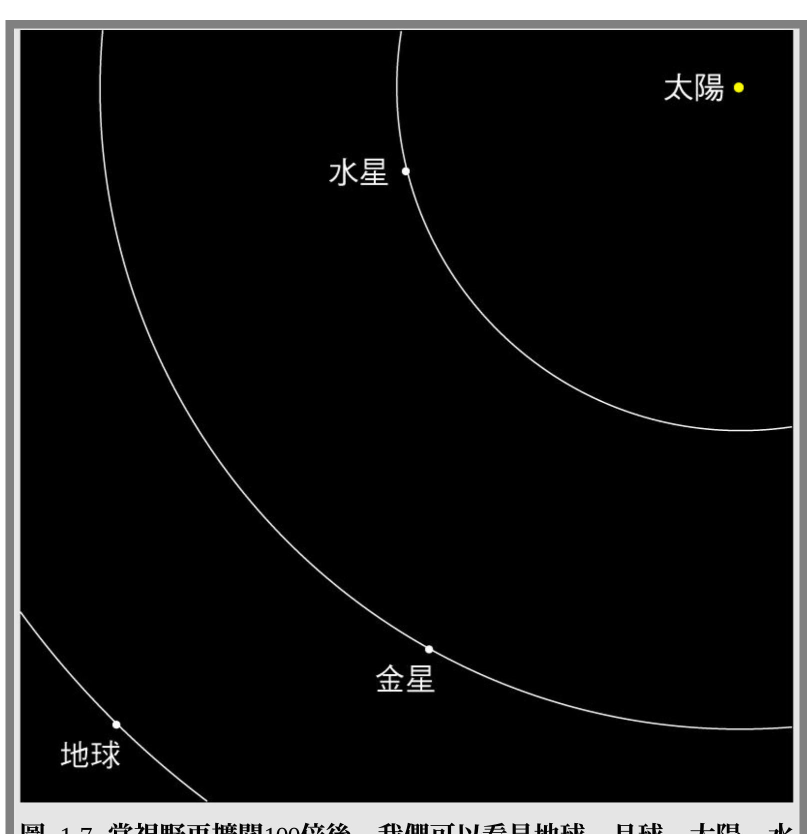
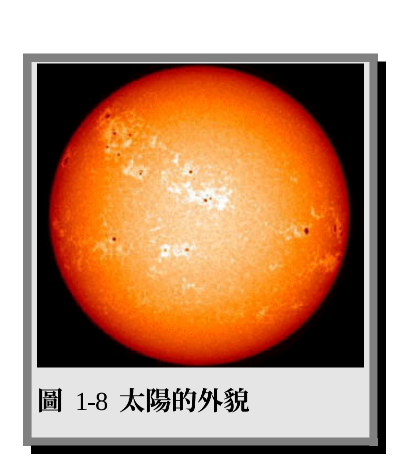


圖 1-7 當視野再擴闊100倍後，我們可以看見地球、月球、太陽、水星和金星。一個天文單位 (1 AU) 定義為地球與太陽之間的平均距離，約等於一億五千萬公里。


圖 1-8 太陽的外貌

第七步 太陽系 (solar system) 主要由太陽與九大行星組成。如果我們想像太陽變成一粒細小的梅子，那麼整個太陽系就會橫跨 300 m，而最大的行星—木星就會變成一粒離梅子 20 m 的蘋果核。行星無論在大小或結構上都有很大的差異，例如水星、金星和火星都是像地球一樣由岩石組成的細小天體，但以木星為首的巨型行星則是龐大的液體球。隨著與太陽的距離增加，行星的成份和大小有著顯著的差異，它們各自擁有與別不同的特質。太陽系中也存在著很多小行星 (asteroids) 和彗星 (comets)。彗星是環繞太陽公轉的「骯髒雪球」，它們的軌道十分橢長。

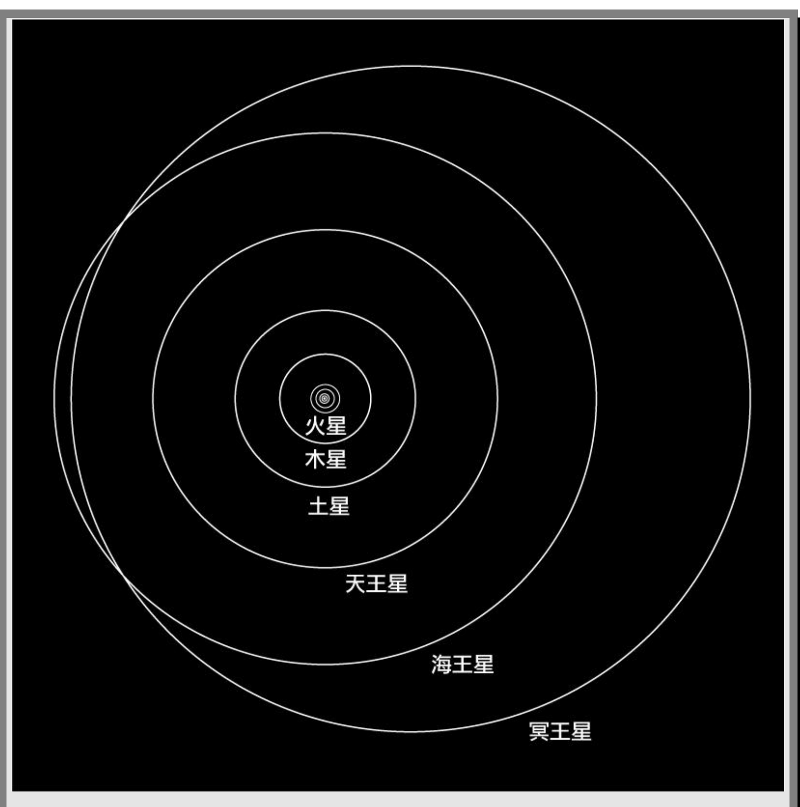


圖 1-9 經過連續六次擴闊視野100倍後，我們看見整個太陽系。太陽系大約橫跨 80 AU，即相等於地球與太陽之間平約距離的 80 倍。

第八步 來到了旅程的第八步，我們飛出了太陽系，整個太陽系收縮成圖中央的一個小圓點。在這個尺度下，四周空無一物，我們才驚覺太陽在宇宙中原來這樣孤獨。像太陽一樣可自行發光的恆星其實非常非常多，不過它們與太陽距離太遠了，以至我們在這一步上未能發現它們的蹤影。

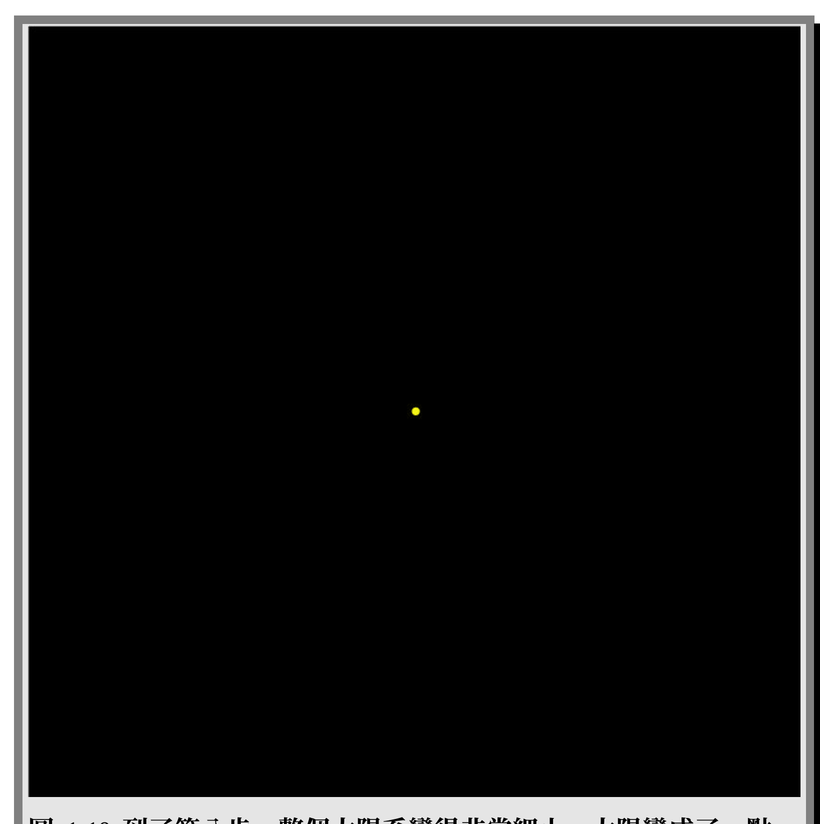


圖 1-10 到了第八步，整個太陽系變得非常細小。太陽變成了一點光，所有行星與它們的軌道都被擠壓在光點附近一個很細小的範圍裏。在這一步，我們仍未發現其他恆星的蹤影。

第九步 太陽與最近的恆星大約相距 270,000 AU，即相等於太陽與地球之間平約距離的 270,000 倍。我們習慣以光年 (light year, ly) 表達這樣巨大的尺度。光是宇宙中走得最快的東西，在真空中每秒鐘走三十萬公里，這相當於每秒鐘繞著地球轉七個半圈的距離。天文學上定義在真空中光一年所走的距離為一光年。如果用光年來表示，太陽與比鄰星的距離約為 4.2 光年，即從比鄰星射出的光線需要約 4.2 年才可到達地球，相比之下，太陽光只需要八分多鐘便來到地球 (一個天文單位的距離)。

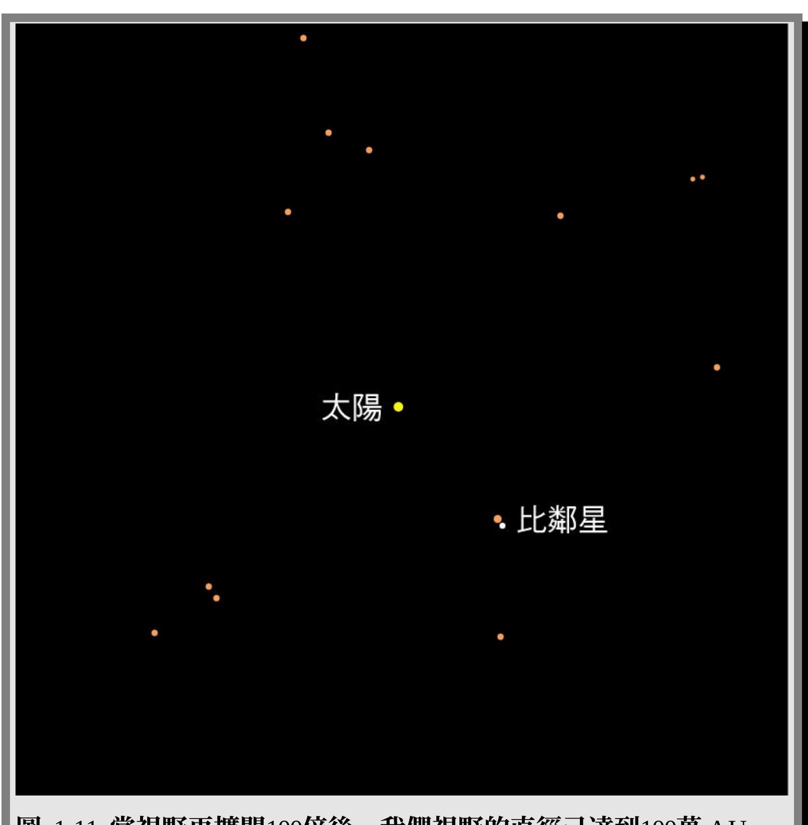


圖 1-11 當視野再擴闊100倍後，我們視野的直徑已達到100萬 AU。太陽系位於圖的正中央，我們可以看見數顆離太陽最近的恆星。

第十步 再向前走一步，可見範圍的直徑約為一千四百光年，太陽與其鄰近的恆星在視野中變得很渺小，代之而來的是數以千百計的恆星。恆星的分佈並不是完全隨意的，它們喜歡聯群結隊出現，組成星團 (star cluster)。宇宙中存在著各式各類的恆星，有些遠比太陽光和熱，有些就很冷和很暗。許多恆星也可能擁有像我們太陽系般的行星系統，當中也許有一些行星會孕育出生物。



圖 1-12 當視野再擴闊100倍後，可見範圍的直徑約為 1,700 ly。太陽與其鄰近的恆星在視野中消失了，隨之呈現的卻是數以千百計的恆星。

第十一步 **把視野再擴闊一百倍，一個極大的旋渦結構便展現在我們的眼前。這個龐大的恆星集團稱為銀河系 (Milky Way Galaxy)，連太陽在內，它包含了約二千億顆恆星。銀河系橫跨約十萬光年，是一個扁平的結構，平面上佈滿大量明亮而年輕的恆星，與及氣體和塵埃。太陽位於其中一條旋臂之上，較接近銀河系邊沿，並繞著銀河系中心旋轉。恆星會經歷由出生至死亡的生命歷程，在不同年齡演化成不同的形態 — 包括原恆星 (protostar)、主序星 (main – sequence star)、紅巨星 (red giant)、白矮星 (white dwarf)、中子星 (neutron star) 和黑洞 (black hole)。**



圖 1-13 當視野再擴闊100 倍後，我們可以看見整個銀河系。銀河系大約橫跨十萬光年，由約二千億顆恆星組成。在這樣的尺度下，太陽與其鄰近的恆星渺小如塵。

第十二步 **讓我們離開銀河系，向著更龐大的尺度進發。當視野再擴闊了一百倍之後，我們看到銀河系以外的其他星系 (galaxy)。像銀河系一樣，它們都是一些龐大的恆星集團。這幅示意圖的尺度已達到一千四百萬光年了。星系並非胡亂地散佈在宇宙中，而是傾向於成群出現，形成所謂星系團 (cluster of galaxies) (第十二章)。銀河系身處的本星系團 (Local Group) 已是較為細小的一個，它橫跨約為六百萬光年，由二十多個星系組成。星系的形態各有不同，大致上可分為旋渦、橢圓和不規則三類。**

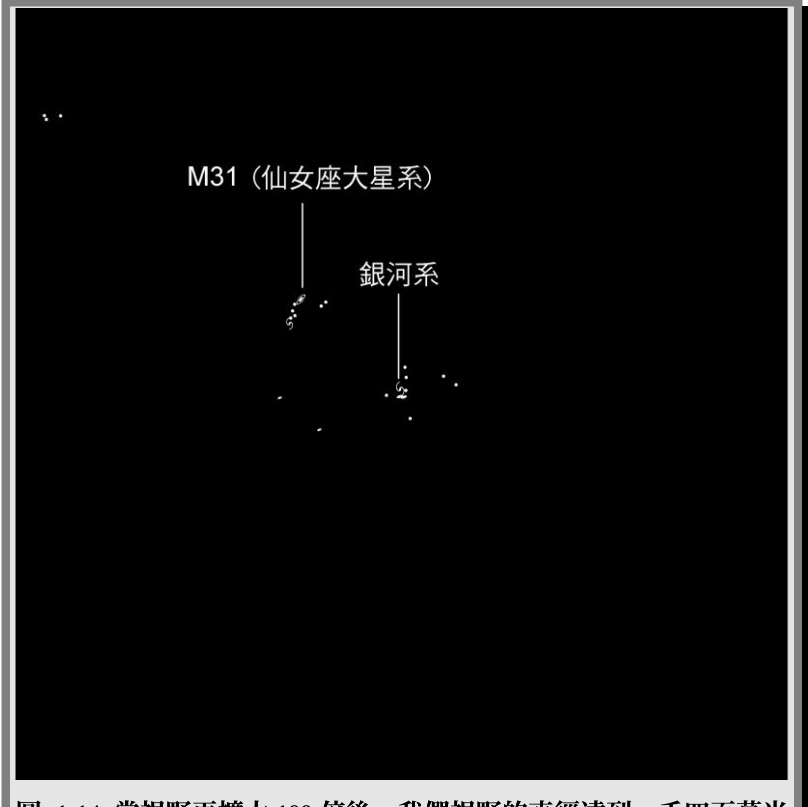


圖 1-14 當視野再擴大 100 倍後，我們視野的直徑達到一千四百萬光年。在這樣的尺度下，星系猶如小點。圖中每點代表一個星系。

第十三步 **我們終於來到了旅程中最後的一步了。隨著視野繼續擴張，大量星系猶如微塵般湧現。星系並非胡亂地散佈著，它們聚集在一起，形成星系團，而數以百計的星系團又會組成另一些更大結構—超星系團 (supercluster)。我們銀河系身處的本星系團，本身就是位於本超星系團 (Local Supercluster) 裏。超星系團連成一起，構成一些像絲帶連成的網狀結構，當中勾畫出極大的空隙。長城** (Great Wall) **與它勾畫出的大空隙** (Void) **是極大的星系結構，橫跨超越六億光年。星系間的距離正以高速增加，是宇宙膨脹理論的鐵證。**

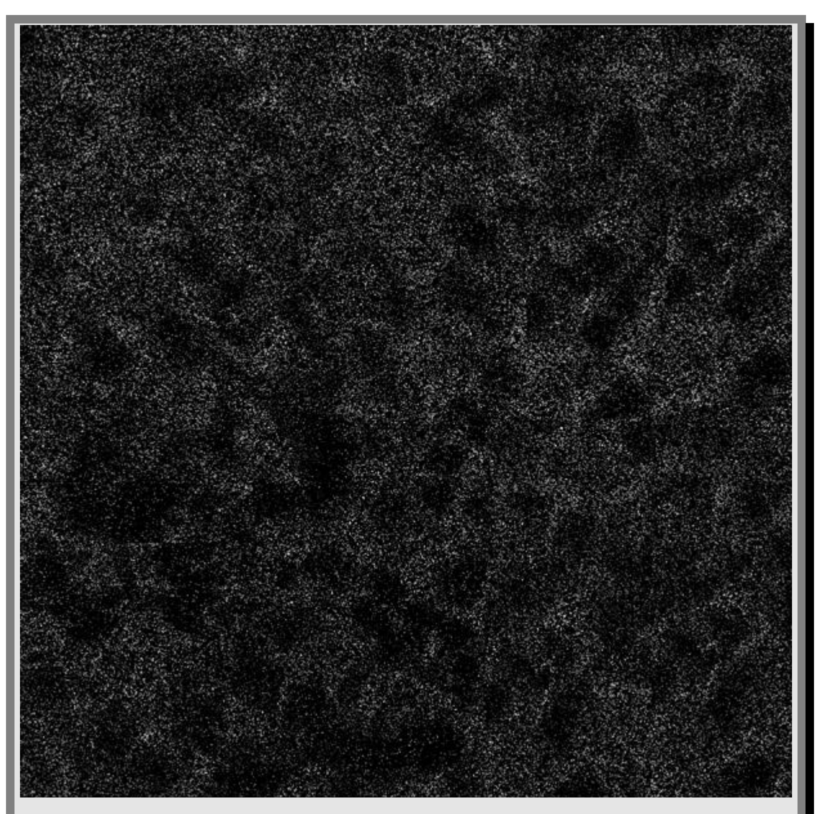


圖 1-16 **超星系團的示意圖。星系團趨向於成群出現，形成所謂的超星系團。超星系團連成一些更龐大的絲帶狀結構。**

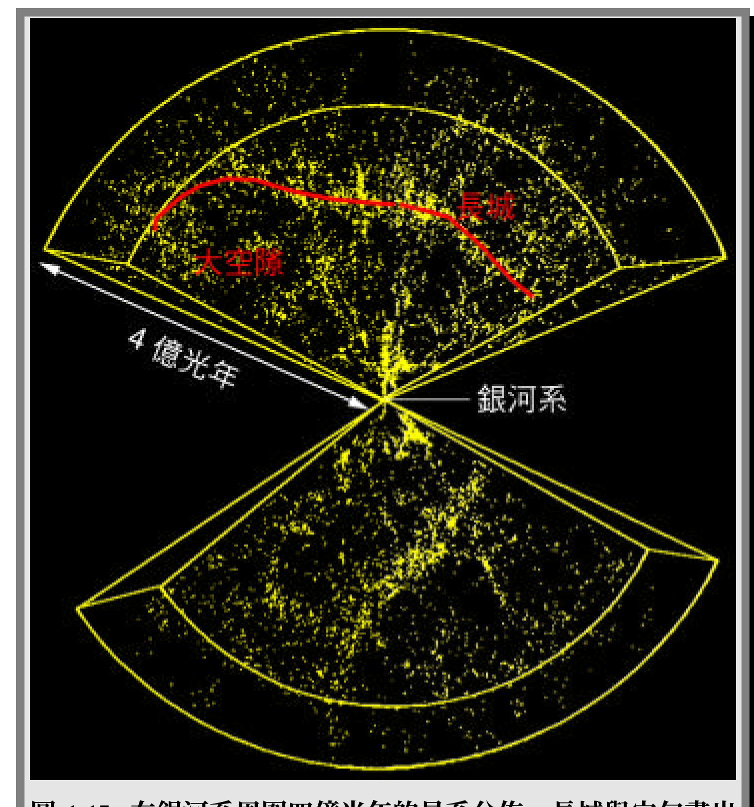


圖 1-15 **在銀河系周圍四億光年的星系分佈。長城與它勾畫出的大空隙是已知最大的星系結構（圖片鳴謝：**Geller & Huchra)。

1.3 摘要

系統	大小	運動	現象 / 天體
地球	直徑 1.3×10^4 km	自轉 (周期一天)	晝夜
地球與月球	平約距離：3.8×10^5 km	月球環繞地球公轉 (周期 ≈ 27日)	月相盈虧 (phases)
太陽與地球	平約距離：1 AU ≈ 1.5×10^8 km	地球環繞太陽公轉 (周期 ≈ 1年) 太陽自轉 (周期 ≈ 25日)	四季 (seasons)
太陽系 (solar system)	橫跨 80 AU	太陽環繞銀河系的中心旋轉 (周期 ≈ 2.4×10^8年)	太陽、九大行星(包括地球)、彗星(comets)和小行星(asteroids)
最近太陽的恆星	距離地球大約10 ly 或 10^6 AU		“非常空虛” (最近的恆星離地球4.2 ly)
銀河系(Milky Way Galaxy)	大約橫跨10^5 ly	自轉速度約為 200-300 km / s	擁有大約 2×10^{11} 顆不同年齡和種類的恆星，包括主序星(main-sequence stars)、白矮星(white dwarfs)、紅巨星(giants)、中子星(neutron stars)、黑洞(black holes) 和星雲(nebulae)。
本星系團 (Local group)	大約橫跨 2 Mpc		擁有大約二十多個星系。
超星系團 (supercluster)	延綿超過 100 Mpc	在此尺度下可見宇宙膨脹	數以百計星系團聚集成超星系團，擁有數以千計的星系。
長城 (Great Wall), 大空隙 (Void)	延綿超過 200 Mpc		極大的星系結構。
可見的宇宙	大約10^{10} ly 或 10^4 Mpc		宇宙的早期面貌，類星體 (quasars)。